Géomorphologie : relief, processus, environnement, 2006, n° 2, p. 141-156

La crise environnementale des bassins versants des Beni Saïd (Rif oriental, Maroc)

Environmental crisis in the Beni Saïd catchments (Eastern Rif, Morocco)

Évelyne Gauché*

Résumé

Les bassins versants du territoire des Beni Saïd, extrémité orientale de la chaîne rifaine, de climat semi-aride, sont actuellement le théâtre d'une crise environnementale majeure, qui se manifeste essentiellement depuis le début des années 1980, et qui prend place dans la crise généralisée des campagnes des Beni Saïd. La dégradation des versants, en particulier sous l'effet du ravinement, le déficit hydrique des sols quasi constant et la brutalité des crues dans les oueds, sont le témoignage d'un milieu sous l'emprise du ruissellement et soumis à une érosion hydrique de plus en plus exacerbée. En témoignent non seulement les paysages, mais aussi les mesures effectuées au moyen de l'équipement de ravins en piquets et le suivi des crues de quelques oueds, réalisés entre 1999 et 2001. Cette dynamique est le fait non seulement d'héritages physiques et historiques, mais surtout de la combinaison de changements récents d'origine climatique et anthropique, ayant abouti à des mutations importantes dans les travaux et l'utilisation du sol. Face à l'importance du facteur anthropique, les observations se sont appuyées sur des mesures du ruissellement et des pertes en terre effectuées sur parcelles d'érosion. Les résultats ont montré que les friches apparaissent comme les terres les plus sensibles à l'érosion et que l'extension des superficies dégradées s'effectue essentiellement par l'agrandissement des formes apparues lors de la première année de l'arrêt du travail de la terre. Ceci a ainsi permis de confirmer les effets néfastes, qualitatifs et quantitatifs, des changements récents ayant affecté l'utilisation et les travaux du sol sur la stabilité du milieu.

Mots clés : érosion, sécheresse, mesure, érosion, cycle de l'eau, Rif oriental, Maroc.

Abstract

The catchments of the Beni Saïd territory, at the semi-arid eastern end of the Rif mountains, have been experiencing a major environmental and agricultural crisis since the beginning of the 1980s. The state of severe degradation of the slopes due to gullying, the permanent moisture deficit in the soils and the devastating force of wadi floods are the consequence of an environment affected by rill wash and subjected to intensified mechanical erosion. This dynamics is highlighted not only by landscapes, but also by erosion pins placed in several gullies and the monitoring of several wadis between 1999 and 2001. This situation is not only due to the physical and historical past, but also to a combination of recent climatic and human impacts affecting cultural practices and land use. Here, an overview of the situation is presented, and monitoring and quantification of the human impact are based on the measurement of rill wash and soil loss on test plots. The results show that fallow land appears to be the land use category most susceptible to erosion and that expansion towards fallow areas of sites already degraded by erosion occurs through the growth of erosional landforms that were initiated during the first year after cultivation has ceased. This highlights the negative, qualitative and quantitative effects of recent changes affecting land use and cultural practices on the stability of the environment.

***Key words**: erosion, drought, measurements, erosion, water cycle, Eastern Rif, Morocco.*

Abridged English version

The catchments of the Beni Saïd territory, in the eastern Rif mountains (fig. 1), are currently subject to very intense erosional dynamics. Resulting forms testify to a severe ongoing geomorphic crisis (Gauché, 2002). The mountain environment is being degraded by rill wash, gullying and landslides, which are collectively depleting the hillslope regolith, but the marly piedmonts and alluvial formations are also affected by intense gullying. This has generated generalized badland topography over extended areas and involves tunnel-gully erosion (Laffan and Culter, 1977;

*Département de géographie, université de Tours, 23 rue de la Loire, 37000 Tours. Courriel : evelyne.gauche@9online.fr

Neboit, 1991 ; Amirèche, 1994 ; Tribak, 1988, 1997). This trend was confirmed between 1999 and 2001 by the monitoring of gullying processes using erosion pins placed in several gullies, and by regular photographic sequences of some key sites (Gauché, 2005a). The indurated conglomerate plateau surfaces exhibit extensive pebble pavings that confirm the magnitude of rill-wash processes. Accelerated erosion, while clearly visible on the slopes, is also concentrated in the wadis. Their valley floors and banks undergo significant morphological changes as a result of flash floods, which reflect the short response times of the catchments to precipitation. Rainfall–runoff response times were obtained by monitoring several wadis between 1999 and 2001 (fig. 2). The pervasive erosional activity affects the water cycle in the catchments.

This dynamics is due to several causes, namely the physical conditions of the area, which are characterized by widespread unconsolidated regolith, steep slopes and fragile soils, and the destruction of the natural forest cover almost during the colonial period (1912-1956) (Geografía de Marruecos, 1936). However, the current situation is mainly the result of more recent climatic and human impacts. The decline in precipitation since the early 1970s (Laouina, 1998b ; Fay, 2000) (table 1 and fig. 3) has entailed a marked degradation of water budgets, which in turn has reduced soil protection by land cover and discharge in the wadis (table 4). This conjunction has caused water table lowering and contributed to an aridification of the environment. However human factors have the current environmental crisis. Slope-parallel ploughing and soil degradation in relation to a succession of bad crops, together with increased rural outmigration to Europe, have all increased the sensitivity of arable land to erosion. Areas under cultivation have diminished, but due to the increased drought hazard the end of cultivation has not led to an expected recolonisation by natural vegetation. Instead, the decline in the intensity of land husbandry explains the slope degradation. The dramatic effects of these changes affecting land use were quantified by implementing an experimental approach on small (4 m²) erosional test plots (De Noni et al.*, 2001). Results show that the longer a plot of land has been abandoned, the more vulnerable it becomes to wash processes as a consequence of soil capping. Soil loss, however, is reduced because soil particles become less easily detached by rill wash. Fallow land appears to be the land use category most susceptible to erosion (fig. 10), and soil loss is 2 to 4.5 times greater than on abandoned land. Expansion towards fallow areas of sites already degraded by erosion occurs through the growth of erosional landforms that were initiated during the first year after cultivation has ceased.*

Introduction

Le massif des Beni Saïd et son avant-pays, composés de plaines et de plateaux, situés à l'extrémité orientale de la chaîne rifaine (fig. 1), en climat méditerranéen semi-aride (300 mm de précipitations par an à Dar Kebdani, *cf.* fig. 2), sont actuellement le théâtre d'une crise environnementale majeure qui s'exprime par une dégradation de l'ensemble des ressources : sols, eau et végétation. La principale manifestation en est le déclenchement d'une crise érosive affectant la dynamique des versants et des oueds, témoignage d'un milieu en déséquilibre (Gauché, 2002).

Au nord, le massif des Beni Saïd (922 m) domine la Méditerranée (fig. 1). Il est caractérisé par un substrat schisto-calcaire et localement marno-volcanique, recouvert de formations colluviales holocènes et pléistocènes (El Abbassi, 1999), le plus souvent inférieures à 40 cm d'épaisseur, et de sols squelettiques. Vers le sud, se succèdent un ensemble de piémonts courts constitués tantôt de glacis d'accumulation, tantôt de collines marneuses et schisto-marneuses messiniennes (Barathon, 1989), de plaines alluviales limono-argileuses situées autour de 120 m d'altitude moyenne, et enfin d'un secteur de plateaux et de collines conglomératiques scellés par des croûtes calcaires, dont les altitudes se relèvent jusqu'à 450 m à l'ouest. L'ensemble est bordé au sud et à l'est par la vallée de l'oued Kert, aux terrasses rharbiennes limono-argileuses (Barathon, 1972), qui décrit un large coude avant de se jeter, au Nord, dans la Méditerranée. Ces caractéristiques physiques donnent un milieu fragile marqué par la prédominance de formations meubles et de fortes pentes, auxquelles s'ajoute une végétation très dégradée.

Au-delà de ce contexte physique, la crise environnementale qui affecte la région se situe dans le cadre plus général de la crise des campagnes des Beni Saïd. En effet, partie intégrante de l'ensemble plus vaste que constitue le Rif, unité géographique fondamentale du nord du Maroc (Maurer, 1968), le territoire des Beni Saïd est défavorisé non seulement par sa situation géographique, complètement excentrée par rapport aux centres économiques du pays et à l'écart des grandes voies de communication, mais aussi par des contraintes importantes liées aux faibles ressources en eau. Le système agropastoral est pourtant adapté à ce milieu, traditionnellement fondé sur les céréales et l'arboriculture sèche associées à une petite irrigation gravitaire dans les fonds de vallées et à un petit élevage ovin et caprin. Or, ce système aujourd'hui en crise n'est plus capable de faire vivre la population (33 000 habitants, 70 par km²), dont les revenus proviennent désormais en grande partie de l'émigration vers l'Europe et de la contrebande (dont le cannabis) principalement avec l'Espagne et l'Algérie (Guitouni, 1995 ; Gauché, 2005b). Ainsi, dans le cadre de la crise actuelle de ce système agropastoral (Gauché, 2002), crise à la fois économique (faiblesse des productions agricoles, fort taux de chômage) et sociale (malaise de la société, exode rural, émigration, désintérêt des populations pour l'activité agricole), et aggravée de surcroît par une diminution récente des précipitations, le milieu connaît d'importants dysfonctionnements.

Notre contribution a ainsi pour but de mettre en évidence les manifestations et l'origine de la crise environnementale affectant les bassins versants des Beni Saïd. La dynamique érosive exacerbée qui s'exerce sur les versants et dans les oueds est vérifiée par une série d'observations à partir de mesures sur des piquets équipant des ravins expérimentaux

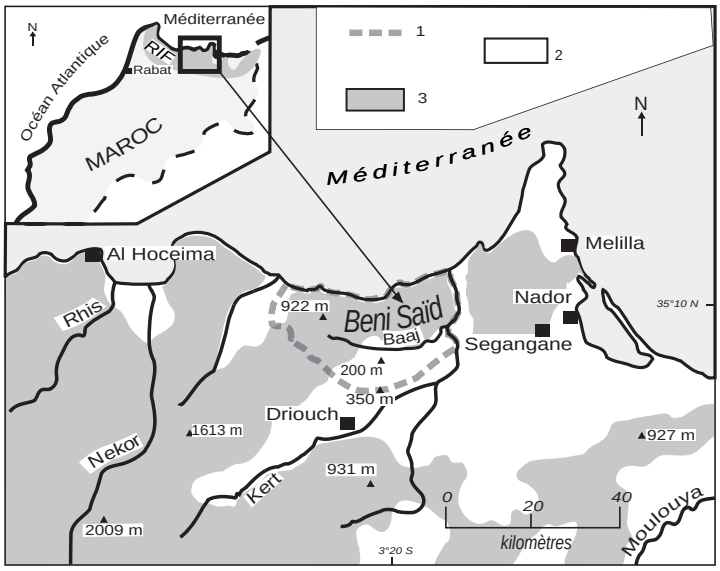

Fig. 1 – **Localisation du territoire des Beni Saïd.** 1 : limites de la zone d'étude ; 2 : plaines et bas plateaux ; 3 : montagnes.

Fig. 1 – ***Location of the Beni Saïd territory*** *1: boundary of the study area; 2: lowlands and plateaus; 3: mountains.*

et, secondairement, par un suivi des crues des oueds effectué entre 1999 et 2001. Toutefois le contexte morpho-structural et les mutations récentes du climat ne suffisent pas à l'expliquer complètement. Afin de mettre en évidence l'importance du facteur anthropique dans cette crise environnementale, des mesures sur des parcelles d'érosion ont été entreprises. Celles-ci préciseront le rôle des travaux et de l'utilisation du sol sur le ruissellement de surface et les pertes en terre qu'ils engendrent, et permettront de comprendre le rôle des changements récents qui ont affecté la dynamique du milieu.

Manifestations de la crise et héritages

Les bassins versants des Beni Saïd sont soumis à une dynamique d'érosion hydrique accélérée, qui se répercute dans les oueds par des écoulements particulièrement rapides et brutaux. Cette dynamique est due en partie à des héritages physiques et historiques responsables de la grande fragilité du milieu.

Une dynamique d'érosion accélérée

C'est la montagne qui est soumise aux processus d'érosion les plus diversifiés (Gauché, 2005a). Le ruissellement diffus, par son action de décapage, met à jour la roche en place ou la croûte calcaire la surmontant, qui affleure alors sous forme de larges plaques. Il agit le plus souvent en association avec des rigoles, qui entraînent une disparition rapide de la couverture colluviale des versants (Maurer, 1988 ; Barathon, 1989 ; Laouina *et al*., 1992 ; Fenjiro *et al*., 1996). Si les versants décapés et griffés de rigoles sont les plus répandus dans le massif montagneux, les formes majeures de ravinement, très fréquentes, marquent aussi fortement les paysages. Ces dernières affectent les sites où les formations meubles sont suffisamment épaisses pour donner au ruissellement concentré la possibilité de creuser des ravines ou ravins profonds, qui se généralisent parfois à l'ensemble d'un versant. Sur les versants dotés d'épaisses formations meubles, enfin, le ravinement coexiste avec les mouvements de masse, essentiellement représentés par les glissements de terrain.

Sur les piémonts, la retombée nord des plateaux méridionaux et dans les plaines, les processus dominés par le ravinement sont moins diversifiés, mais ils n'en sont pas moins actifs, aboutissant à la prédominance du modelé de dissection dans le paysage. Les formations marneuses sont soumises à un ravinement généralisé en *bad lands*, qui affectent des superficies pouvant atteindre près de 18 km^2 d'un seul tenant. Ces *bad lands* sont vraisemblablement des héritages, comme dans le bassin méditerranéen en général (Maurer, 1988 ; Laouina, 1995 ; Ballais, 1996). D'après les mesures faites à partir de piquets implantés dans deux ravins au nord de Dar Kebdani (fig. 2 ; Gauché, 2005a), l'essentiel de l'activité du ravinement dans ces formations se produit lors d'averses violentes ou d'orages, c'est-à-dire lors d'un petit nombre d'événements érosifs (Barathon, 1989). Dans les formations alluviales des plaines, le ravinement est également très présent et sa dynamique est encore plus active, en raison du rôle dominant joué par la suffosion (Laffan et Culter, 1977 ; Neboit, 1991 ; Amirèche, 1994 ; Tribak, 1997). Ce rôle a été démontré par les mesures effectuées dans un ravin affluent de rive gauche de l'oued Baaj (fig. 2 ; Gauché, 2005a). Malgré la faible pluviométrie des deux années d'observation (respectivement 132 et 192 mm, avec des maxima journaliers de 36 mm et des intensités moyennes de l'événement pluvieux généralement inférieures à 30 mm/h), le creusement a atteint 60 cm dans la section amont du talweg, et le remblaiement 27 cm, à l'aval. De petits effondrements, nombreux, ont affecté les berges, particulièrement sur les rives concaves, dont le recul a atteint 20 cm, tandis que dans sa section médiane, le ravin s'est élargi de plus d'un mètre sous l'effet de l'effondrement de pans entiers de parois.

Si les formations marneuses et alluviales sont le domaine du ravinement, plus au sud, dans les plateaux constitués en surface par le conglomérat encroûté, la vigueur de la dynamique érosive se manifeste par le ruissellement diffus. Il provoque de vastes pavages de cailloux, où abondent les éléments grossiers, tandis que la croûte est mise à l'affleurement par plaques sur les sommets d'interfluves. La surface de ces plateaux prend ainsi l'aspect de regs, que la déflation éolienne contribue à accentuer. Cette dynamique érosive, affectant les versants sous des formes diverses, est intégrée par les oueds, dont le lit connaît une évolution rapide sous l'effet des crues.

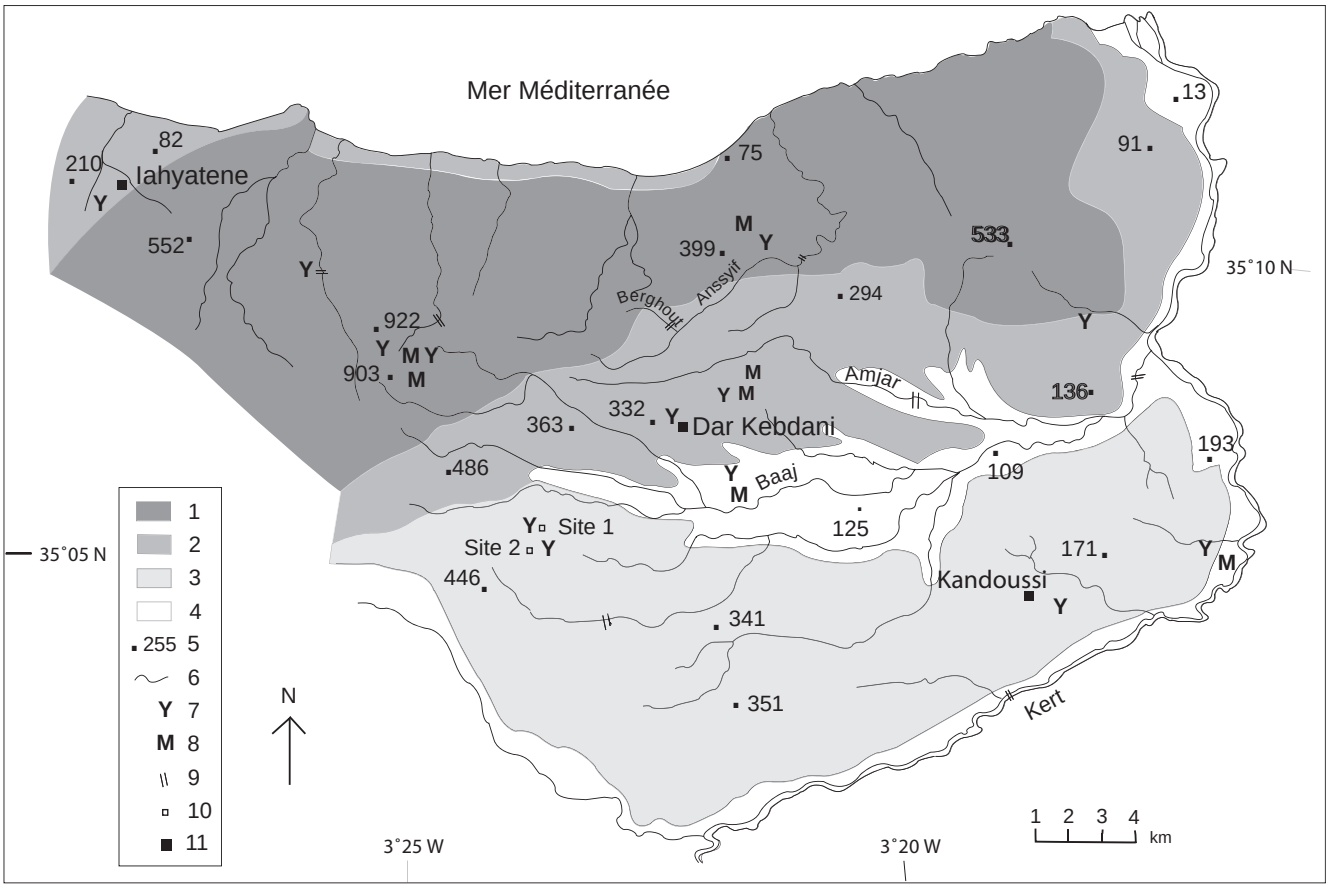

Fig. 2 - **Les grandes unités morphostructurales du territoire des Beni Saïd et la localisation des sites expérimentaux.** 1 : massif schisto-calcaire ; 2 : piémonts ; 3 : plateaux conglomératiques ; 4 : plaines alluviales ; 5 : point coté ; 6 : principaux oueds ; 7 : pluviomètre ; 8 : ravin équipé en piquets de mesure ; 9 : site de suivi des crues et de l'évolution du lit des oueds ; 10 : parcelles d'érosion ; 11 : centre rural.

*Fig. 2 – **The main units of the Beni Saïd territory and the location of measurement sites.** 1: schist and limestone range; 2: piedmonts; 3: conglomerate plateaus; 4: alluvial plains; 5: elevation point; 6: main wadis; 7: raingauge. 8: gully with erosion-pins; 9: site for observing floods and the evolution of the wadi bottoms; 10: erosional test plots; 11: rural centre.*

Des oueds aux écoulements brutaux et érosifs

Dans les oueds, la dynamique érosive est le fait de crues soudaines et brèves, responsables du sapement des berges et d'importants changements morphologiques au fond des lits. Les berges, très souvent hautes et escarpées, s'érodent d'autant plus facilement que les matériaux qui les constituent sont fins et non consolidés. De plus, elles sont affectées par la suffosion qui, de la même manière que dans les ravins, favorise l'effondrement de pans entiers de parois à l'occasion des crues.

L'importance des effets érosifs de ces crues est due à leur brutalité, qui traduit la rapidité du temps de réponse des bassins versants aux précipitations. Ceci a été montré par la mesure des crues de quelques oueds, de 1999 à 2001 : durée de l'écoulement, variations de la hauteur d'eau et de la concentration de MES (fig. 2). Suivant l'intensité de la pluie et l'état de saturation des bassins versants, l'écoulement commence en effet de quelques minutes à 2 heures, après le début de la pluie, et le pic de crue est atteint très rapidement, entre 25 minutes et 1 heure après le début de l'écoulement. La décrue est plus lente que la montée de la crue, entre 1 heure 30 et 5 heures, mais les écoulements cessent fréquemment en quelques dizaines de minutes après la fin des précipitations. Les bassins versants sont donc rapidement ressuyés. Par ailleurs, si le nombre de jours d'écoulement fut faible dans l'absolu, au cours de ces deux années (respectivement 16 et 12 jours), une proportion relativement importante des jours de pluie, respectivement 30 % et 26 %, a provoqué des écoulements. Les orages, dont la durée fut comprise entre 13 et 32 minutes et les quantités précipitées entre 8 et 36 mm, ont provoqué les plus fortes crues. Ainsi, le 24 octobre 2000, à la suite d'un orage d'une durée de 25 minutes ayant totalisé 36 mm à Kebdani, soit une intensité moyenne de 86 mm/h (maximum enregistré de 1999 à 2001), le niveau de l'eau a atteint 1,50 m dans les oueds Berghout et Baaj. L'écoulement fut immédiat dès le début de la pluie, le pic de crue ayant été atteint au bout de 30 minutes seulement, et cessa totalement 6 heures après la fin de la pluie. Des crues importantes ont également été provoquées par des pluies abondantes de quelques heures, mais de faible intensité. Ainsi, le 20 novembre 1999, après plusieurs jours sans pluie, l'oued Anssyif connut une crue à l'occasion

d'une pluie de 23 mm et d'une durée de 5 heures et 15 minutes, dont l'intensité moyenne fut de 4,52 mm/h. L'écoulement débuta 45 minutes après le début de la pluie, et le pic de crue, correspondant à une hauteur d'eau de 80 cm, fut atteint 2 heures après le début de l'écoulement, qui cessa totalement environ 1 heure après la fin de la pluie et n'aura duré au total que 5 heures.

Le temps de réponse des bassins versants aux précipitations est donc très rapide, et pour des intensités faibles en valeur absolue, puisque la plupart des pluies n'ont pas dépassé 30 mm/h : par comparaison, l'intensité des orages relevées dans la Chaîne des Horsts au Maroc oriental semi-aride (Chaker, 1993) sont fréquemment supérieures à 70 mm/h. Par ailleurs, les eaux de crue sont généralement très chargées en matières en suspension, ce qui traduit la vigueur de la dynamique érosive, sous l'effet du ruissellement, dans les bassins versants. Ainsi, les résultats des prélèvements effectués sur les différents oueds montrent que la concentration en MES au moment du pic de crue fut comprise entre 40 et 60 g/l. Par comparaison, en Algérie orientale, les valeurs moyennes maximales mensuelles de turbidité des oueds Ressoul et Melah, affluents de l'oued Seybouse, sont comprises entre 2 et 48 g/l (Bourouba, 1994), et la turbidité moyenne de l'oued Medjerda est de 10 à 15 g/l seulement lors des petites crues, mais de 80 à 100 g/l pour les plus grandes (Laouina, 1998a). Ainsi le transfert de l'eau dans les bassins versants est-il très rapide en surface, d'où l'efficacité de l'érosion hydrique malgré la rareté de l'eau. Ces manifestations de la dynamique érosive sur les versants et dans les oueds sont favorisées par la grande fragilité du milieu.

Les héritages physiques et historiques : un milieu fragile

Le territoire des Beni Saïd est caractérisé par la prédominance de fortes pentes et de formations peu résistantes. Le massif montagneux, toujours soumis au soulèvement (Barathon, 1989), est en effet constitué de versants raides pouvant atteindre 50°, d'interfluves étroits et de vallées encaissées de 150 à plus de 300 mètres. Ces pentes fortes se retrouvent également dans les vallées, aux versants le plus souvent convexes, disséquant les plateaux. Du point de vue lithologique, les formations meubles (colluvions, formations alluviales, marnes, schistes marneux, formations marno-volcaniques), représentent la quasi-totalité des affleurements. À cela s'ajoutent des sols le plus souvent minces et très sensibles au ruissellement : texture fine limoneuse à limono-argileuse, augmentation importante de la teneur en argile en profondeur (jusqu'à 60 %) et présence d'une croûte calcaire ou de la roche en place (schistes, conglomérat, formations volcaniques, marnes) qui constitue un niveau imperméable très souvent à 10 ou 20 cm de profondeur seulement. En raison de la prédominance des textures fines, d'un faible taux de matière organique défavorable à la stabilité structurale, de la présence de sels (Hénin *et al*., 1969) et d'une couverture végétale très peu couvrante, ces sols sont très sensibles à la battance (Boiffin, 1984 ; Valentin, 1985). Cette susceptibilité au ruissellement est encore renforcée par leur forte pierrosité, la proportion d'éléments de diamètre inférieur à 2 cm en surface et semi-enfouis dépassant 50 %, et parfois même 75 % pour les sols de montagne, des plateaux méridionaux et du piémont schisto-marneux (DPA de Nador, 1994). Or, la pierrosité à l'intérieur du sol diminue sa capacité de rétention en eau (Porta *et al*., 1994 ; Martinez-Fernandez, 1996) et, lorsque ce sol est affecté par une croûte de battance, la pierrosité de surface et semi-enfouie, bien que jouant le rôle d'un pavage et donc d'une certaine protection vis-à-vis de l'érosion, augmente la production de ruissellement (Hillel et Tadmor, 1962 ; Yair et Klein, 1973 ; Van Den Brink et Jungerius, 1983 ; Pœsen, 1986 ; Pœsen et Lavee, 1991, 1994).

À cette sensibilité intrinsèque des sols au ruissellement s'ajoute la présence d'une végétation très dégradée pour expliquer la fragilité actuelle du milieu. En effet, même si les versants en pente forte sont cultivés (tout en comportant près de 20 % de la SAU en jachère), les parcours sont très étendus (48 % de la superficie du territoire) et sont occupés en grande majorité par une végétation basse et ouverte (taux de couverture inférieur à 30 % en été), reflétant la dégradation des sols : inule visqueuse (*Inula viscosa*), armoise (*Artemisia herba alba*), buissons épineux tels *Launea arborecens*, doum (*Chamaerops humilis*), ou encore asphodèle (*Asphodelus microcarpus*). Cette végétation très clairsemée est en grande partie l'héritage de l'exploitation du milieu. Compte tenu de l'ancienneté de la présence humaine, attestée dès l'époque préhistorique (El Abbassi, 1999), la végétation naturelle des Beni Saïd, comme du Rif oriental en général, est exploitée et modifiée depuis longtemps (bois de construction, de chauffe, agriculture itinérante sur brûlis, pâturage). Cependant les forêts, localisées en montagne et sur les plateaux, étaient encore très étendues durant la période précoloniale (Mouliéras, 1895 ; El Abbassi, 1999 ; Gauché, 2002). Essentiellement composées de thuyas, elles ont disparu pendant la colonisation espagnole (1912-1956). En effet, en plus des prélèvements effectués pour les besoins militaires, le bois destiné à l'exportation vers l'Espagne (Geografía de Maruecos, 1936) fut acheté aux paysans, entraînant le remplacement des forêts par un matorral très appauvri. La dynamique érosive actuelle s'inscrit donc sur des héritages physiques et historiques défavorables à l'équilibre du milieu. Mais son exacerbation est récente et s'explique surtout par des changements d'origine climatique et anthropique intervenus depuis le début des années 1970 et surtout 1980.

Les causes conjoncturelles de la crise

Une crise climatique aux conséquences dramatiques

D'après les données disponibles pour la station de Dar Kebdani de 1948 à 2001 (fig. 2), l'abondance des précipitations a diminué. Si cette tendance vaut pour l'ensemble du Maroc (Fay, 2000), elle est particulièrement accrue dans le Rif oriental (Laouina, 1998b). Non seulement le total des

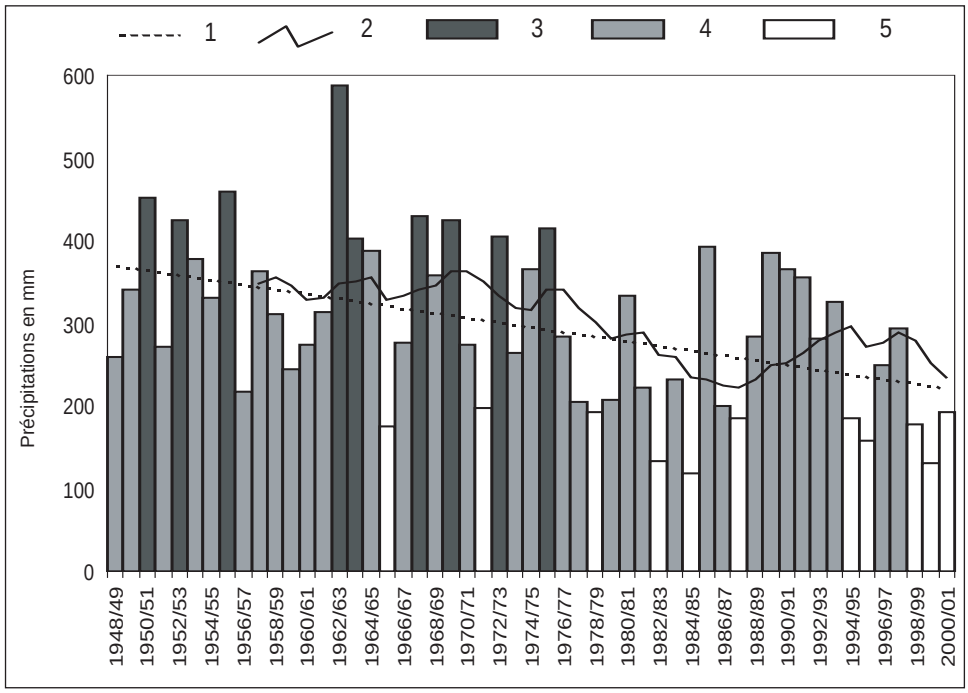

Fig. 3 – **Évolution de la pluviométrie de 1948 à 2001.** 1 : droite de tendance linéaire (équation y = ax + b) ; 2 : moyenne mobile par 10 ans ; 3 : année exceptionnellement pluvieuse (> 400 mm) ; 4 : année normale ; 5 : année exceptionnellement sèche (< 200 mm).

*Fig. 3 – **Evolution of rainfall between 1948 and 2001.** 1: regression line (y = ax + b); 2: 10-year moving average; 3: exceptionally rainy year (>400mm); 4: normal year; 5: exceptionally dry year (<200mm normal year).*

précipitations a diminué sensiblement à partir du début des années 1970 (tab. 1), mais également la fréquence des années exceptionnellement pluvieuses (> 400 mm) au profit des années exceptionnellement peu pluvieuses (< 200 mm ; fig. 3). La réduction de l'abondance pluviométrique se traduit par une diminution du nombre de jours de pluie dans l'année, de 42 jours en moyenne dans la décennie 1950 à 28 dans la décennie 1990.

La diminution globale des précipitations entre 1948 et 2001 s'est accompagnée d'un changement dans la répartition saisonnière des pluies (tab. 1). En effet, tandis qu'aucun changement net ne se dessine pour les pluies d'été, on observe une diminution marquée des pluies d'hiver et de printemps, et une augmentation, plus modérée, des précipitations d'automne, mais qui est loin de compenser la diminution des pluies des deux autres saisons. Cette évolution s'est traduite par un allongement de la saison sèche ; celle-ci en application de la formule de Gaussen P ≤ 2T, qui exprime un niveau de sécheresse accusé (Vigneau, 1996) est passée d'une durée de sept mois (de mai à novembre) avant 1977, à 8 mois (d'avril à novembre) après 1977. Cet allongement d'un mois révèle une accentuation du degré d'aridité du climat. C'est ce que met en évidence l'évolution du rapport P/ETP (évapotranspiration potentielle) calculé pour différentes périodes à la station de Dar Kebdani (tab. 2). Selon les seuils retenus par l'UNESCO (1979), de supérieur à 0,2 avant les années 1970, il se rapproche de cette valeur dans les années 1970, puis lui devient inférieur depuis 1980. Par conséquent, d'une situation semi-aride, la station de Dar Kebdani passe dans le domaine subaride. Ainsi, la sécheresse actuelle ne traduit pas une succession d'années sèches comme en connaît de façon récurrente le climat du Rif oriental, mais résulte bien d'une évolution qui se marque par une diminution nette des précipitations et par un changement dans la répartition saisonnière des pluies. Il s'agit donc d'une véritable crise climatique, qui a eu des conséquences dramatiques sur l'activité agropastorale et le fonctionnement du cycle de l'eau.

Année de mesure	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total
1948/1949 –1959/1960	45,6	146,2	133,2	12,4	337,4
1960/1961–1969/1970	68,8	145,1	127,1	21,8	362,8
1970/1971–1979/1980	51,0	101,6	116,8	11,2	280,6
1980/1981–1989/1990	67,6	86,8	89,1	5,3	248,8
1990/1991–2000/2001	76,6	93,9	59,2	17,5	247,1
Moyenne	62,5	115,2	104,3	13,7	296,0

Tableau 1 – **Évolution interannuelle des pluies saisonnières moyennes (années agricoles) en mm entre 1948 et 2001 à Dar Kebdani.**
*Table 1 – **Inter-annual evolution of mean season rains (agricultural years), in mm between 1948 and 2001.***

En premier lieu, les changements affectant le régime pluviométrique ont entraîné une modification du calendrier des travaux du sol, qui est à l'origine d'une augmentation de la sensibilité des terres cultivées au ruissellement diffus et concentré (Gauché, 2000). En effet, alors que l'année agricole commence habituellement en octobre, les premières pluies survenant après la longue sécheresse estivale sont de plus en plus tardives (décembre et même janvier), ce qui provoque un retard des semis ; il s'y

Période de mesures	P. (mm)	P/ETP
1933 – 1963*	352,0	0,26
1948/1949 –1959/1960**	337,4	0,25
1960/1961–1969/1970**	362,8	0,27
1970/1971–1979/1980**	280,6	0,21
1980/1981–1989/1990**	248,8	0,18
1990/1991– 2000/2001**	247,1	0,18

*P. Carlier in Barathon, 1989.
**Agricultural Provincial Direction, Nador.

Tableau 2 – **Évolution du rapport P/ETP pour la station de Dar Kebdani (avec ETP = 1348.6 mm).**

*Table 2 – **Evolution of R/ETP ratio for the Dar Kebdani station (for ETP = 1348,6 mm).***

s'ajoute l'insuffisance des pluies d'hiver et de printemps, nécessaires à la levée puis à l'épiaison des céréales. Les mauvaises récoltes sont ainsi de plus en plus fréquentes et les sols de moins en moins bien protégés par les cultures. En second lieu, sur les terrains de parcours des troupeaux, l'augmentation du déficit hydrique des sols en hiver et au printemps, période de croissance de la végétation spontanée, est à l'origine d'une mauvaise reconstitution du tapis herbacé. Il en résulte une réduction de l'effet protecteur de la végétation sur les sols et un abaissement du seuil de charge en bétail que peuvent supporter les parcours. Ainsi, malgré la diminution des effectifs de bétail, en relation avec les mauvaises récoltes successives et l'émigration, les parcours se trouvent en état de surpâturage parce que cette charge reste trop forte par rapport à la végétation disponible ; en outre celle-ci se modifie comme en témoigne la prédominance des espèces les moins appréciées des animaux.

Non seulement la réduction de la pluviométrie s'est traduite par une dégradation des bilans hydriques des sols, mais elle est également à l'origine d'une diminution des écoulements dans les oueds, ce dont témoigne l'évolution des écoulements moyens annuels de l'oued Kert à Driouch (fig. 1), qui sont passés de 28 Mm^3 dans les années 1970 à 15 Mm^3 dans les années 1990 (Direction Générale de l'Hydraulique d'Oujda). Il en est résulté la baisse corrélative du niveau des nappes phréatiques, directement alimentées par les oueds, ce qui tend à provoquer l'arrêt du fonctionnement des systèmes d'irrigation traditionnels par seguia et captage de sources. Durant cette période, le creusement de puits, désormais nécessaires pour atteindre les inféroflux des oueds, fut le premier révélateur de l'aridification du climat et du milieu. Or, ces puits viennent combiner leurs effets à ceux qui sont engendrés par la réduction de la pluviométrie, en accentuant considérablement le rabattement des nappes phréatiques ; celui-ci atteint parfois une trentaine de mètres depuis le début des années 1980. Les écoulements dans les oueds en sont donc d'autant moins soutenus, ce qui rend plus spectaculaire la brutalité des crues. De plus celles-ci alimentent d'autant moins les nappes phréatiques qu'elles sont de plus en plus brèves. Les différents réservoirs hydrologiques sont ainsi de plus en plus déconnectés les uns des autres, ce qui traduit bien la dégradation du cycle de l'eau. Le climat a donc une part importante dans la crise environnementale actuelle. Cependant, celle-ci ne peut se comprendre totalement sans prendre en considération les facteurs anthropiques, c'est-à-dire les changements ayant affecté les pratiques culturales et l'utilisation du sol à partir des années 1980, en relation avec l'émigration et le désintérêt grandissant de la population pour l'agriculture.

Le rôle majeur des facteurs anthropiques

L'introduction du tracteur dans les années 1960, période de croissance démographique caractérisée par une extension maximale des terres cultivées au détriment des terres de parcours, a eu un effet très défavorable sur la stabilité des sols. L'aggravation s'accéléra à partir des années 1980, lorsque l'utilisation du tracteur commença à se généraliser sur les terrains en pente. En effet, en plus du tassement du sol et de la formation de semelles de labour, l'usage du tracteur sur les versants entraîna la disparition des talus de labour aux limites de parcelles ; il favorisa le travail du sol dans le sens de la pente, jugé plus rapide par les paysans que le labour selon les courbes de niveau. Tout ceci contribua à l'apparition de formes de ravinement. Aujourd'hui dans un souci d'économie de temps et d'argent, les paysans tendent à limiter le nombre de labours à un seul dans l'année sur les jachères, au lieu de deux ou trois. Ceci présente l'inconvénient de réduire la fréquence d'effacement des rigoles qui se créent dans les champs. Ces dernières s'approfondissent alors sous l'effet cumulé des pluies, le seuil dangereux étant le passage à la forme d'érosion qui n'est plus effaçable par les labours (Laouina, 1998b). Ceci est d'autant plus grave que la tendance actuelle, en relation avec le manque de main d'œuvre et la diminution de la pluviométrie, est à la réduction des surfaces cultivées : les friches constituent aujourd'hui 84 % des terrains de parcours soit 40 % de la superficie du territoire, et jusqu'à 85 % des terres dans certains finages de montagne. L'arrêt du travail de la terre, fatal à la stabilité des versants, est le principal facteur explicatif de l'augmentation des superficies érodées (fig. 4A).

Ainsi, compte tenu de la grande sensibilité des sols à l'érosion, l'arrêt de la mise en culture et l'entretien moins soigné des terres par les travaux du sol ont conduit à leur dégradation rapide. D'une part, n'étant plus effacées par les labours, les formes d'érosion mineures (rigoles et affleurements par plaques des encroûtements sous-jacents aux colluvions) s'agrandissent sous l'effet des pluies, tandis que les pavages de cailloux deviennent permanents et de plus en plus apparents puisque aucun travail du sol ne vient contrarier l'action du ruissellement diffus. Le processus est d'autant plus rapide que les parcelles ont été labourées au tracteur dans le sens de la pente. D'autre part, l'arrêt de la mise en culture des terres conduit à l'arrêt de l'entretien de

Fig. 4 – **Paysages et mesures de l'érosion.** A : Terre en friche dégradées par l'érosion (partie orientale du massif des Beni Saïd). La culture du versant au premier plan a cessé en 1982. Il est aujourd'hui affecté par des rigoles et le décapage superficiel, les cordons de pierres ne subsistant plus qu'en lambeaux. La végétation est représentée par les touffes épineuses éparses de Launea arborescens. Remarquer le contraste avec la partie du versant toujours cultivée, qui ne présente pas de traces d'érosion (cliché E. Gauché, juillet 2000). B : Les placettes du site 1 (localisée dans la fig. 2). Au premier plan, la placette P1 (friche récente) et, respectivement en 3e, 4e et 5e position, les placettes P2 labourée dans le sens de la pente, P3 labourée selon les courbes isohypses et P4 (friche récente) (cliché E. Gauché, décembre 2000).

Fig. 4 – ***Erosion: landscapes and measurements.*** *A: Fallow land degraded by erosion (eastern part of the massif). Tilling on the slope in the foreground stopped in 1982. It is now affected by rills and clearing, and the stone walls are severely damaged. Vegetation consists of scattered thorny clumps of Launea arborescens. Note the contrast with the part of the still cultivated slope that shows no trace of erosion (photograph: E. Gauché, July 2000). B: Plots of site 1 (located in fig 1). In the foreground, plot P1 (recent abandoned land) and, respectively in 3rd, 4th and 5th position, P2 ploughed in the direction of the slope, P3 ploughed perpendicularely to the slope, and P4 recent abandoned lands (photo: E. Gauché, December 2000).*

toutes les pratiques anti-érosives traditionnelles, cordons de pierres sèches, talus de terre, rideaux de végétation, qui étaient indispensables à la stabilité des terroirs cultivés, notamment en montagne. La dégradation de ces versants sous l'effet du décapage et du ravinement est très rapide une fois que ces aménagements sont endommagés.

En relation avec l'arrêt du travail du sol, l'érosion se trouve exacerbée sur les versants par l'augmentation du ruissellement, que la faible couverture végétale entrave peu. En effet, le déficit hydrique des sols et leur fragilité ne permettent pas une reconstitution suffisamment rapide du couvert végétal sur les terres en friche, d'autant plus qu'elles sont pâturées par le bétail. C'est ainsi la dynamique érosive qui l'emporte (Hsiao, 1973 ; Hsiao et Acevedo, 1974 ; Harrouni, 1994), la végétation entamant alors une évolution régressive. En montagne, *Inula viscosa*, qui constitue d'abord une erme très clairsemée, est progressivement remplacée par des espèces de dégradation plus résistantes à la sécheresse édaphique, comme le thym (*Thymus sp*.), parfois l'armoise (*Artemisia herba alba*), associées à des épineux tels *Launea arborescens* qui, au bout de quelques années, tend à rester la seule plante présente. Sur les plateaux méridionaux, *Peganum harmala* et l'asperge sauvage (*Asparagus sp*.), parfois associées à *Inula viscosa*, cèdent la place à la petite asphodèle et au thym, avant que *Launea arborescens*, de même qu'en montagne, devienne ensuite l'espèce dominante. Ainsi la dégradation des versants, sous l'effet du décapage et du ravinement, combinée aux bilans hydriques déficitaires, entraîne une réduction de la diversité floristique par l'intermédiaire d'une sélection des espèces végétales en faveur de celles qui sont les plus xérophiles. Ce n'est que dans quelques cas exceptionnels, sur des friches correspondant à certains terroirs favorables du massif montagneux (exposition nord, formations superficielles épaisses, réduction importante de la charge en bétail), que les versants connaissent une dynamique de reconquête végétale après l'arrêt du travail du sol : l'erme à *Inula viscosa* évolue vers un matorral à cistes, puis vers la

reconstitution de la forêt de thuyas, couverture végétale relativement dense qui ralentit efficacement le ruissellement sur les versants. Cependant, la plupart des friches sont caractérisées par une dynamique d'évolution régressive irréversible. La modification récente de l'utilisation du sol, caractérisée par l'extension des friches, se traduit par l'expansion corrélative des superficies dégradées. C'est ce qu'a confirmé l'approche expérimentale, qui a été menée dans le dessein d'évaluer le ruissellement et les pertes en terre en relation avec les types d'utilisation du sol.

Approche expérimentale de l'érosion en relation avec l'utilisation du sol

La mise en place de petites parcelles d'érosion permet de mieux cerner le rôle des changements récents sur la sensibilité du milieu à l'érosion. L'expérimentation a pour but de mettre en évidence les effets de l'utilisation du sol et des pratiques culturales sur la production du ruissellement et la susceptibilité du sol au détachement des particules. Elle a été choisie à la suite des bons résultats obtenus par H. El Abbassi (1999) sur des placettes dans le bassin voisin de Boudinar. Toutefois les placettes n'ont qu'une très faible représentativité spatiale du fait de leurs petites dimensions (2 mètres de côté), ce qui limite la portée des résultats.

Protocole expérimental

Sept placettes de 4 m² (fig. 4B) ont été installées à 440 m d'altitude au sommet de l'escarpement, qui marque la transition entre les plateaux méridionaux et la plaine de l'oued Baaj (fig. 2, sites 1 et 2). Deux, puis quatre parcelles ont été observées pendant l'année agricole 1999-2000, l'ensemble ayant été étudié pendant l'année 2000-2001 (tab. 3). Les parcelles, sur une pente de 12° excepté la parcelle 1 (pente 18°) ont été mises en place sur deux terrains en friche, l'un depuis 1993 (site 1, friches récentes, 6 parcelles), l'autre depuis 1980 (site 2, friche ancienne, une seule parcelle). Le sol, de texture limoneuse, surmonte une croûte à 20 cm de profondeur qui scelle le conglomérat fini-messinien au-dessus des marnes messiniennes. Chaque parcelle, de forme carrée, est limitée par une bordure en pierres et en ciment de 15 cm de haut. Le côté à l'aval-pente possède une forme en entonnoir afin d'éviter la stagnation éventuelle d'eau de ruissellement dans les coins et le long de la bordure. Une gouttière, fixée sur une plaque de zinc verticale, constitue l'exutoire à l'aval. L'eau de ruissellement est recueillie dans un seau d'un volume de 15 litres, qui est enterré dans un trou au débouché de la gouttière. La gouttière et le seau sont recouverts d'une bâche en plastique étanche, qui est maintenue par des pierres, et d'une plaque en métal afin d'éviter que le seau ne recueille les eaux de pluie. Les mesures des volumes ruisselés et des pertes en terre (concentration en MES) sont accompagnées de relevés pluviométriques qui ont été effectués par différents observateurs bénévoles présents en permanence sur le terrain ; ces derniers ont noté les quantités précipitées, l'heure du début et de la fin de la pluie, afin de calculer l'abondance, la durée et l'intensité moyenne horaire de chaque pluie.

Sur les placettes ont été testés les effets de l'utilisation du sol et des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion (tab. 3). Des placettes, dont le sol présentait des marques de battance, ont été laissées en friche pendant toute la durée des observations. Elles étaient caractérisées par une forte pierrosité (20 à 25 %, sauf pour la friche ancienne où elle atteignait 40 %) et une couverture végétale de l'ordre de 10 % en été (excepté pour P1 où elle était de 20 %) et de 30 à 40 % au printemps (excepté pour la friche ancienne P7 où elle n'a pas dépassé 15 %). D'autres ont subi différents types de labours pratiqués le 11 janvier 2000 sur les parcelles P2 et P3, et le 12 novembre 2000 sur les parcelles P5 et P6 et à nouveau sur P2 et P3. L'une d'entre elles fut ensemencée et les autres ont été assimilées à des terres en jachère.

Les effets de l'utilisation du sol sur le ruissellement et les pertes en terre

L'évolution la plus importante concerna les changements de l'état de surface des parcelles passant de l'état de friche à celui de terre labourée (P2, P3, P6) dont le sol a subi une brutale déstabilisation. Seules quelques pluies de courte durée ont suffi à former une croûte de battance sur un sol rendu friable par un labour récent, et dépourvu de végétation. Il s'agit en effet de deux jours pluvieux ayant totalisé 3,5 mm et 19 mm en novembre 2000, avec six averses de 1

Période d'observation	Site 1						Site 2
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Du 2.08.1999 au 10.01.2000	F						F
Du 11.01.2000 au 7.07.2000	F	JLP	JLI				F
Du 8.07.2000 au 11.11.2000	F	JLP	JLI	F	F	F	F
Du 12.11.2000 au 2.08.2001	F	JLP	JLI	F	S	JLI	F

Tableau 3 – **Utilisation du sol des parcelles expérimentales (P1 à P7) au cours des deux années d'observation**. F : friche ; JLP : jachère labourée dans le sens de la pente ; JLI : jachère labourée selon les courbes isohypses ; S : semis en orge.

*Table 3 – **Land-use of the experimental plots (P1 to P7) during the two years of observation.** F: abandoned land; JLP: fallow land ploughed in the direction of the slope; JLI: fallow land ploughed perpendicularly to the slope; S: barley seedling.*

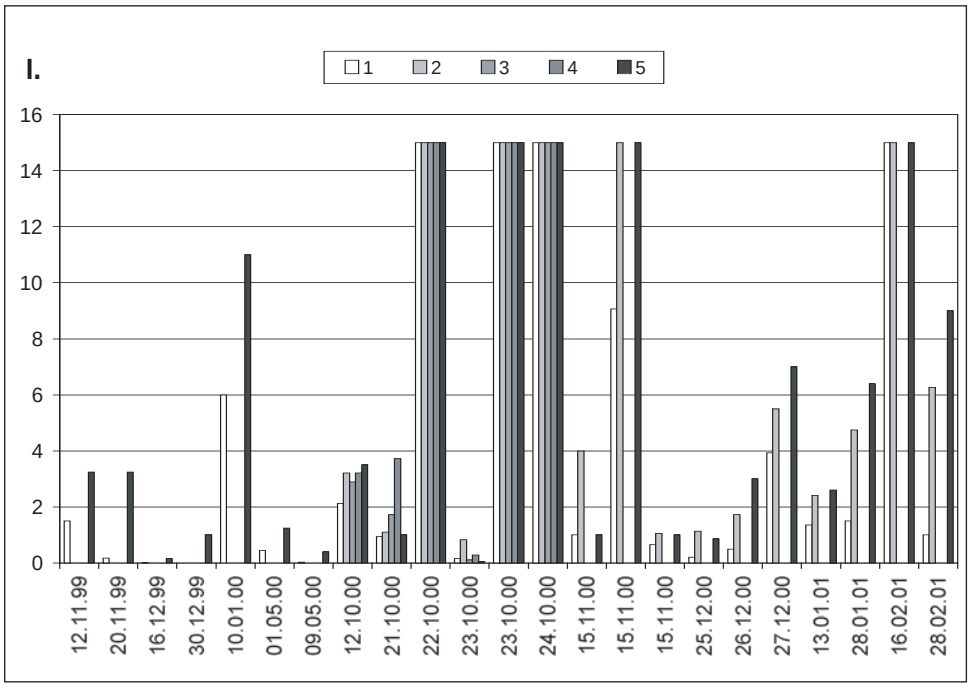

Fig. 5 – **Variation des volumes ruisselés sur les parcelles expérimentales en friche.** 1 : parcelle P1, friche récente ; 2 : parcelle P4, friche récente ; 3 : parcelle P5, friche récente ; 4 : parcelle P6, friche récente ; 5 : parcelle P7, friche ancienne.

Fig. 5 – ***Variation of runoff on experimental abandoned land.*** *1: plot P1 recent abandoned land; 2: plot P4 recent abandoned land; 3: plot P5 recent abandoned land; 4: plot P6 recent abandoned land; 5: plot P7 old abandoned land.*

à 8,5 mm, d'une durée de 45 minutes à 5 heures, dont les intensités moyennes horaires faibles ont été comprises entre 2 et 37 mm/h.

L'observation du comportement des parcelles en friches (fig. 5) mit également en évidence leur grande susceptibilité au ruissellement. De manière générale, le seuil de ruissellement apparut très faible, puisqu'il se manifesta pour des précipitations de l'ordre de 6 mm/h sur sol sec et de 2 mm/h sur sol humide. La parcelle dotée de la meilleure couverture végétale (P1) connut les volumes ruisselés les plus faibles, en dépit d'une pente plus importante, 18° au lieu de 12° (fig. 5). Ceci rejoint les résultats obtenus par d'autres auteurs ayant montré que les relations sont faibles entre la pente et le ruissellement (Lal, 1982 ; Pœsen et Bryan, 1990 ; De Noni, 1997 ; De Noni *et al*., 2001), et met en évidence le rôle bénéfique de la végétation ligneuse (*Inula viscosa*) dû à l'interception et à l'amélioration de l'infiltration (Thornes, 1990). En revanche, la friche ancienne (P7) connut les plus forts taux de ruissellement, deux à six fois plus élevés que pour les autres friches et jusqu'à vingt fois plus élevés que pour P1. Par conséquent, l'état de surface d'une friche ancienne très dégradée (couverture végétale plus faible, taux de pierrosité plus important, croûte de battance très résistante) semble le facteur déterminant dans l'amplification du ruissellement.

À l'inverse du ruissellement, les valeurs de concentration en MES des écoulements sur les friches (fig. 6) sont globalement faibles, dépassant rarement 2 g/l. C'est paradoxalement la friche possédant la meilleure couverture végétale (P1) qui subit les pertes en terre les plus importantes, malgré de plus faibles taux de ruissellement. Ces différences sont à attribuer à la pente : en effet, si les relations sont faibles entre la pente et le ruissellement, il existe une très bonne corrélation entre le taux d'érosion et la pente, l'érosion croissant de façon linéaire avec l'inclinaison des versants (De Noni *et al*., 2001). Ceci apparaît d'autant plus vrai, même sur des placettes de 4 m², qu'il ne semble pas y avoir de relation déterminante entre l'érosion et la longueur de la pente (Roose, 1994 ; De Noni *et al*, 2001). Au contraire, c'est la friche ancienne (P7) qui montre le taux de MES le plus faible : les concentrations n'ont jamais dépassé 1 g/l et sont restées la plupart du temps inférieures à 0,5 g/l. Ceci s'explique soit par l'augmentation de la résistance de la

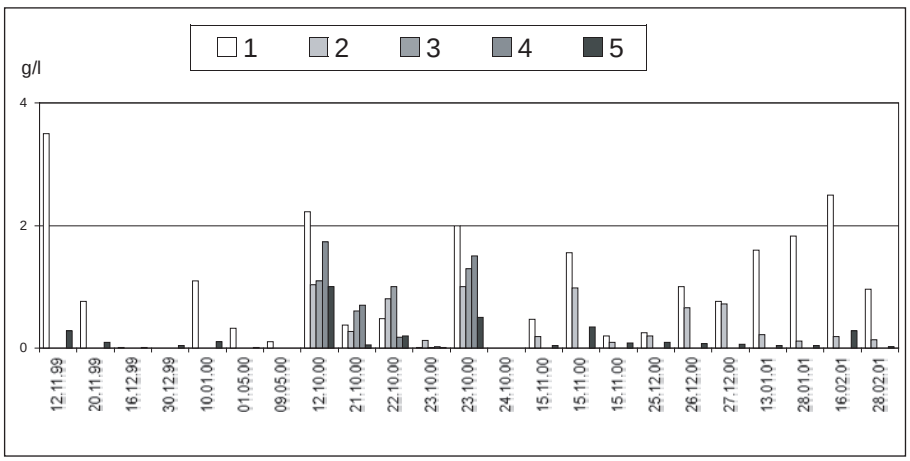

Fig. 6 - **Variation de la concentration en MES issue des parcelles en friche.** 1 : parcelle P1, friche récente ; 2 : parcelle P4, friche récente ; 3 : parcelle P5, friche récente, jusqu'au 11 novembre 2000 ; 4 : parcelle P6, friche récente, jusqu'au 11 novembre 2000 ; 5 : parcelle P7 friche ancienne.

Fig. 6 - ***Variation of suspended materials concentration on abandoned land.*** *1: plot P1 recent abandoned land; 2: plot P4 recent abandoned land; 3: plot P5 recent abandoned land (untill 11th November 2000); 4: plot P6 recent abandoned land (untill 11th November 2000); 5: plot P7 old abandoned land.*

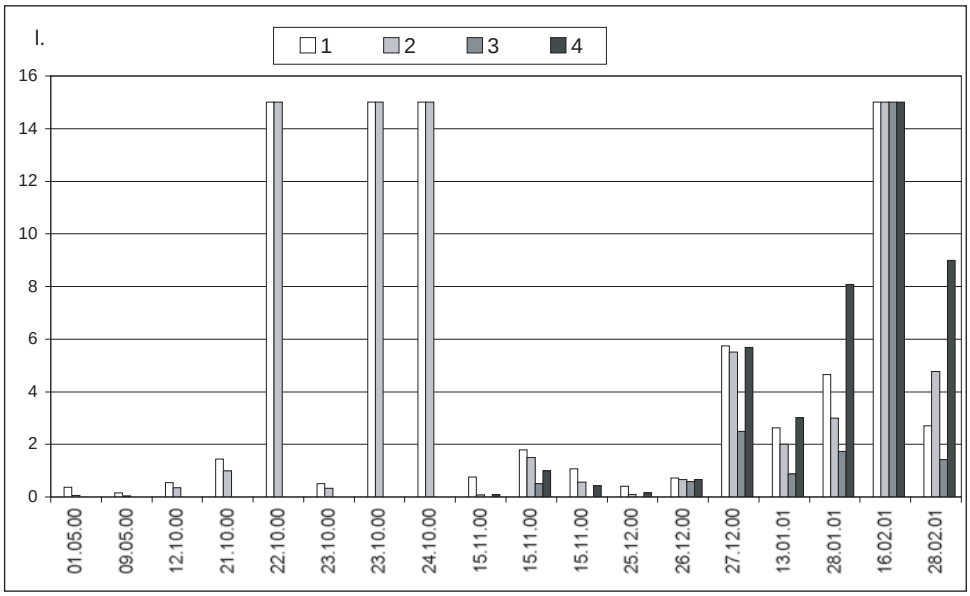

Fig. 7 - **Variation des volumes ruisselés sur les parcelles expérimentales labourées.** 1 : parcelle P2 labourée dans le sens de la pente ; 2 : parcelle P3 labourée selon les courbes isohypses ; parcelle P5 semée à partir du 12 novembre 2000 ; parcelle P6 labourée selon les courbes isohypses à partir du 12 novembre 2000.

*Fig. 7 – **Variation of runoff volumes on experimental ploughed plots.** 1: plot P1 ploughed in the direction of the slope; 2: plot P3 ploughed perpendicularly to the slope; 3: P5 sown plot (as from 12th November 2000); 4: plot P6 ploughed perpendicularly to the slope (as from 12th November 2000).*

croûte de battance avec l'âge de la friche, soit par l'élimination ancienne des particules fines susceptibles d'être entraînées par le ruissellement et par le taux de pierrosité plus important qui contribue à diminuer l'énergie du ruissellement diffus (Poesen et Bryan, 1990). Ainsi, l'observation du comportement des friches montre que plus une friche vieillit, plus elle est sensible au ruissellement, mais plus les pertes en terre diminuent. Comment expliquer alors que les friches soient les terres les plus dégradées, et que, hormis quelques cas exceptionnels de reprise végétale, le degré de dégradation augmente avec l'âge de la friche ? C'est dans l'observation du comportement des parcelles labourées qu'il faut chercher les éléments de réponse.

Les résultats obtenus sur les parcelles labourées sont fondamentalement liés à la présence ou à l'absence de croûte de battance, en relation avec la date du labour. Les plus faibles coefficients de ruissellement (inférieurs à 6 % et même nuls pour certaines parcelles) ont été obtenus sur les parcelles fraîchement labourées, en l'absence de croûte de battance, même pour des pluies relativement abondantes (jusqu'à 12 mm) et intenses (jusqu'à 34 mm/h). Ceci témoigne donc du rôle des labours dans la réduction du ruissellement sur les versants (De Noni, 1997) mais tout dépend aussi de la direction des sillons par rapport à la pente. Ainsi pendant la période du 15 novembre au 26 décembre 2000, sur labour récent, les volumes ruisselés du labour dans le sens de la pente (P2) furent 2 à 3,5 fois supérieurs à ceux de la parcelle semée (P5), pour laquelle le ruissellement a même été nul à trois reprises (deux fois le 15 novembre et le 25 décembre 2000), et 1 à 2,5 fois supérieurs à ceux enregistrés sur les parcelles labourées perpendiculairement à la pente (P3 et P6 ; fig. 7). On voit donc clairement le rôle du labour dans le sens de la pente sur

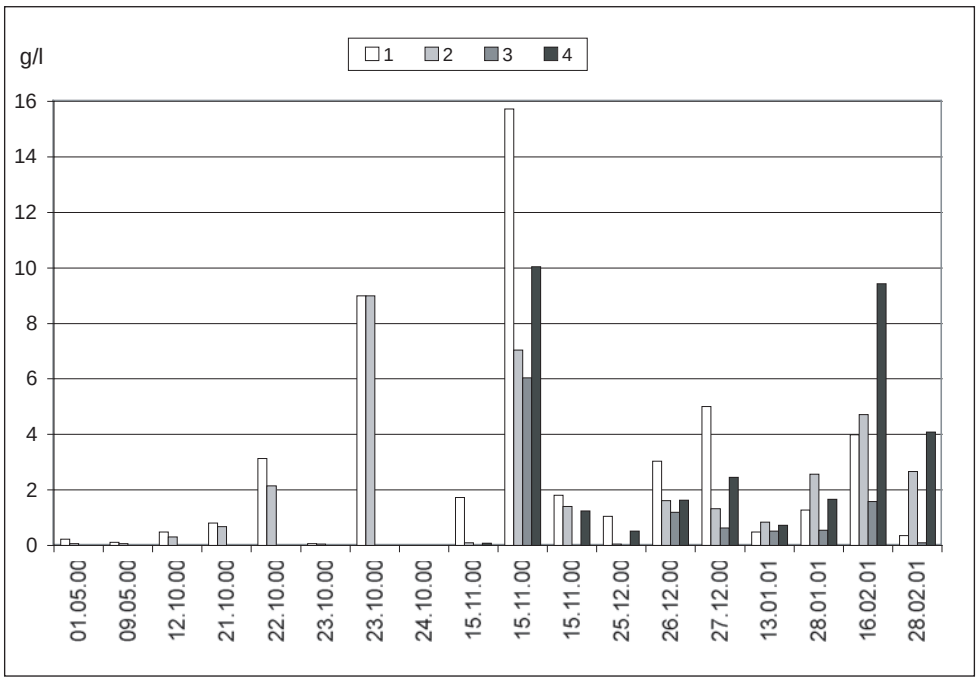

Fig. 8 – **Variation de la concentration en MES issue des parcelles labourées.** 1 : parcelle P2 labourée dans le sens de la pente ; 2 : parcelle P3 labourée selon les courbes isohypses ; 3 : parcelle P5 semée à partir du 12 novembre 2000 ; 4 : parcelle P6 labourée selon les courbes isohypses à partir du 12 novembre 2000.

*Fig. 8 – **Variation of suspended materials concentration on ploughed plots.** 1: plot P2 ploughed in the direction of the slopes; 2: plot P3 ploughing perpendicularly to the slope; 3: P5 sown plot as from 12th November 2000; 4: plot P6 ploughed perpendicularly to the slope as from 12th November 2000.*

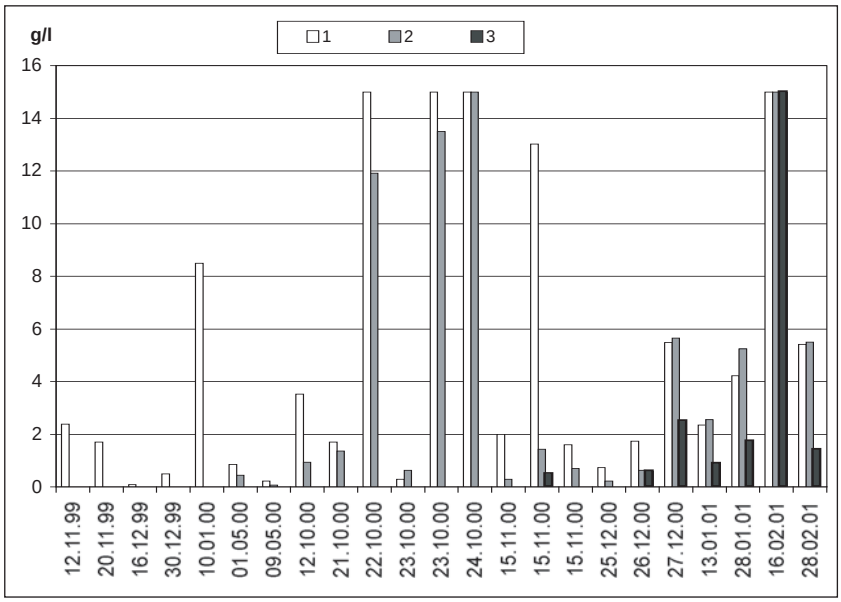

Fig. 9 – **Variation des volumes ruisselés moyens (en litres)** sur les parcelles en friche (1), en jachère (2) et sur la parcelle semée (3).

*Fig. 9 – **Variation of the mean runoff volumes (in litres)** on abandoned lands (1), fallow lands (2), and the sown plot (3).*

l'amplification du ruissellement et le rôle bénéfique du couvert des cultures dans la réduction du ruissellement par rapport aux parcelles labourées mais non ensemencées (jachère). En revanche, le comportement des parcelles a totalement changé (fig. 7) à partir du moment où la croûte de battance fut entièrement constituée, c'est-à-dire à partir du 27 décembre. D'une part, les différences entre les parcelles en jachère apparurent moins nettes, celles labourées selon les lignes isohypses ruisselant tantôt moins, tantôt plus que la parcelle labourée dans le sens de la pente ; seule la parcelle semée en orge conserva des taux de ruissellement sensiblement inférieurs. D'autre part, les volumes ruisselés ont augmenté alors que les pluies ne furent ni plus abondantes ni plus intenses que durant la période précédente, et ils se rapprochèrent de ceux observés sur les friches (fig. 9, et comparer fig. 5 et fig. 7).

Les pertes en terres connurent l'évolution inverse de celle du ruissellement : importantes sur labour frais, elles diminuèrent ensuite avec le vieillissement du labour en relation avec la constitution de la croûte de battance (fig. 8). Sur labour frais, les teneurs en MES furent maximales pour le labour effectué dans le sens de la pente (16 g /l) ; elles dépassèrent de 1,5 à 2,5 fois celles fournies par les labours conformes aux courbes isohypses, et furent de 2,5 à 3,5 supérieures à celles de la parcelle semée, alors que le taux de couverture par les céréales était de 17 %. En revanche, à partir du moment où la croûte de battance fut bien constituée, fin décembre 2000, la situation devint beaucoup moins nette : de même que pour le ruissellement, les résultats entre les parcelles tendirent à s'inverser. Seule la parcelle semée conserva des valeurs de concentrations en MES très inférieures à celles des jachères, dans une proportion de 1 à 6 fois, et jusqu'à 40 fois lorsque les teneurs furent presque nulles. Cependant, malgré la diminution des pertes en terre des labours en relation avec la constitution de la croûte de battance, celles-ci restèrent 2 à 4,5 fois plus élevées que sur les friches. Il apparaît ainsi que la croûte de battance nouvellement constituée favorise la production du ruissellement, mais qu'elle n'est pas encore suffisamment résistante pour réduire les pertes en terre (fig. 9 et fig. 10). Les résultats vont dans le même sens que ceux obtenus dans la Chaîne des Horsts également au Maroc oriental semi-aride (Chaker, 1992, 1993), dans des conditions de milieu très semblables et malgré l'utilisation de parcelles beaucoup plus grandes (20 m x 5 m). Ainsi, les parcelles en jachère connurent les coefficients de ruissellement et les concentrations en MES les plus élevés et apparaissent ainsi comme les terres les plus sensibles à l'érosion hydrique, et plus précisément à l'entraînement des particules du sol sous l'effet du ruissellement.

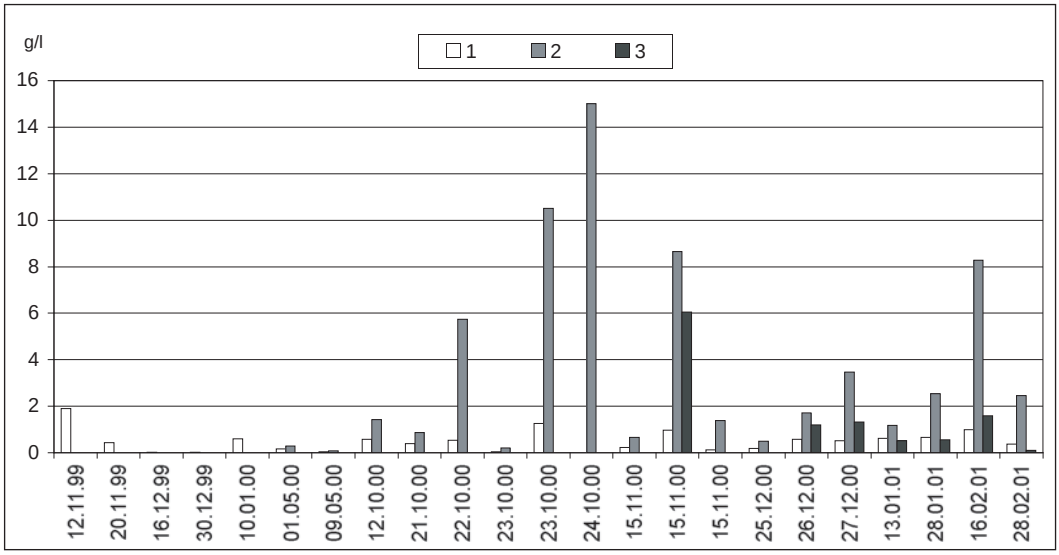

Fig. 10 – **Variation de la concentration moyenne en MES issue des friches (1), des jachères (2) et de la parcelle semée (3).**

*Fig. 10 – **Variation of average suspended materials concentration from abandoned lands (1), fallow lands (2) and the sown plot (3).***

Bilan sur la dynamique du milieu

Bien que les résultats obtenus sur des parcelles expérimentales n'aient été acquis qu'au bout de deux années d'observation, qui furent peu pluvieuses, et malgré la faiblesse des moyens mis en œuvre, cette approche a toutefois permis de mettre en évidence quelques aspects de la dynamique érosive, notamment la relation entre l'utilisation du sol et la susceptibilité des sols au ruissellement et aux pertes en terre. Dans le conteste pluviométrique mentionné, en rapportant les pertes en terre aux volumes ruisselés à l'hectare, le taux de dégradation obtenu pour les friches (plus de 0,2 t/ha) est près de deux fois supérieur à celui des labours (environ 0,12 t/ha). Ces valeurs permettent de mettre en évidence que, si les friches ont des concentrations en MES plus faibles à l'échelle de l'événement pluviométrique, les pertes en terre y sont plus importantes à l'hectare et au cours d'une année que sur les labours, compte tenu de leur plus grande sensibilité au ruissellement. L'extension des friches au détriment des labours est donc un aspect fondamental de la crise érosive actuelle.

Les mesures sur parcelles ont montré que plus les friches vieillissent, plus les concentrations en MES dans l'eau de ruissellement, et donc la sensibilité à l'érosion, diminuent. Or, d'après les observations de terrain, on constate que dans la plupart des cas, plus les friches vieillissent, plus elles sont dégradées. Comment expliquer ce paradoxe ? La solution est à rechercher dans l'évolution de l'utilisation du sol. Les jachères sont en effet les terres les plus sensibles à l'érosion hydrique. Puisque l'érosion est maximale tant que la croûte de battance n'est pas encore trop consolidée, c'est par conséquent la première année de friche qui est la plus dangereuse et qui voit s'amorcer la plupart des formes d'érosion. Étant donné qu'avec le vieillissement des friches, la susceptibilité au ruissellement augmente mais la détachabilité du sol diminue, l'érosion progresse de moins en moins par ruissellement diffus, mais au contraire par ruissellement concentré, c'est-à-dire par l'agrandissement des formes de ravinement amorcées lors de la première ou de la deuxième année d'arrêt du travail de la terre. Et l'importance du taux de dégradation dû à l'abondance des volumes ruisselés explique la rapidité de la dégradaation des versants en friche. Or, en raison de la sécheresse persistante et du retard des premières pluies utiles de l'année agricole, du déclin démographique et du désintérêt grandissant des populations pour le travail de la terre, les jachères augmentent, ainsi que la proportion de jachères qui, à terme, deviennent des friches. Il n'est alors pas étonnant de voir que les superficies érodées augmentent corrélativement.

Cette augmentation des superficies érodées sous l'effet du ruissellement dans un contexte de diminution de la pluviométrie et d'aridification du milieu, qui conduit bien souvent à une dégradation irréversible des versants, évoque les principaux problèmes environnementaux actuels des régions semi-arides et arides, qu'il s'agisse, selon les auteurs et les milieux, de « steppisation » (Le Houérou, 1995a), « désertisation » (Le Houérou, 1995b), aridification (Mainguet, 1995), ou encore de désertification (Dregne, 1984 ; Mainguet, 1991, 1995).

Conclusion

Le poids des facteurs anthropiques dans la dynamique érosive apparaît ainsi fondamental pour expliquer la crise environnementale actuelle. Les changements récents affectant les travaux et l'utilisation du sol sont d'autant plus néfastes qu'ils se combinent à l'évolution des précipitations pour créer un ensemble de conditions favorables à l'érosion, essentiellement hydrique, associée à une dégradation du fonctionnement du cycle de l'eau. D'une part, l'augmentation de la susceptibilité des sols au ruissellement avec l'extension des surfaces fermées par des croûtes de battance (friches et jachères), conjuguée à la diminution des ressources en eau sous l'effet de la crise climatique, ont entraîné une réduction du rôle des réserves au sein des bassins versants. D'autre part, tandis que le tarissement des sources et, corrélativement, des réseaux d'irrigation traditionnels, est particulièrement révélateur de l'intensité de la sécheresse et de l'aridification du milieu, la multiplication actuelle des puits contribue à renforcer les effets de la diminution de la pluviométrie sur le rabattement des nappes phréatiques. Le cycle de l'eau est donc en grande partie commandé par le substratum plus que par les différents réservoirs hydrologiques. Ceci se reflète dans le comportement des oueds, dont le temps de réponse aux précipitations est révélateur de la sensibilité des bassins versants au ruissellement, principal responsable de l'érosion dans ce milieu. Cette susceptibilité des sols au ruissellement est non seulement à relier à la lenteur de l'infiltration, mais aussi à la rapidité de la formation de la croûte de battance sous l'effet de quelques pluies d'intensité supérieure à 6 mm/h. La crise environnementale actuelle, qui contribue à une dégradation rapide du milieu, est donc le résultat de multiples facteurs étroitement liés et surtout inséparables des aspects humains de la crise généralisée des campagnes. Dans un contexte climatique de plus en plus défavorable à la dynamique biologique, la diminution de la population et le manque de main d'œuvre, conjugués au désintérêt grandissant de la société pour l'activité agricole, contribuent à la mise en faillite du système agropastoral et à la dégradation des terres sous l'effet de la réduction des superficies cultivées et de la qualité des travaux du sol.

Remerciements

Cette étude est tirée d'une thèse de doctorat soutenue en décembre 2002 à l'université Paris X-Nanterre. L'auteur remercie vivement J.-J. Barathon qui en a assuré la direction, ainsi que les différents organismes marocains qui ont permis de réaliser les travaux de terrain et de laboratoire (Province de Nador, Caïdat de Dar Kebdani, Direction Régionale de l'Hydraulique d'Oujda). Ses remerciements s'adressent également aux rapporteurs de la Revue, pour leurs précieux conseils et leur travail minutieux de relecture.

Références

Amirèche H. (1994) – Formes et processus érosifs dans le Tell nord constantinois. Cas des bassins des oueds Kotton et Fessa (Algérie). *Méditerranée*, 3-4, 41-50.

Ballais J.-L. (1996) – L'âge du modelé de roubines dans les Préalpes du sud : l'exemple de la région de Digne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 61-68.

Barathon J.-J. (1972) – Sédimentation néogène, néotectonique et évolution récente du bassin de Kebdani et de ses bordures. *Revue de Géographie du Maroc*, 61-73.

Barathon J.-J. (1989) – *Bassins et littoraux du Rif oriental (Maroc) : évolution morphoclimatique et tectonique depuis le Néogène supérieur*. Thèse d'État, université de Poitiers, 584 p.

Boiffin J. (1984) – *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*. Paris, Thèse Institut National Agronomique Paris-Grigon, 320 p.

Bouhamed M. (1995) – *L'oued Neckor. Étude hydrologique d'un bassin versant du Rif central méditerranéen (Maroc) en crise*. T. I et II, Thèse de l'université Toulouse-Le Mirail, 269 p.

Bourouba M. (1994) – Bilan comparatif de l'érosion actuelle dans deux bassins versants de l'Algérie orientale : la Seybouse et le Djendjen. *Méditerranée,* 3-4, 31-39.

Chaker M. (1992) – L'homme et la dynamique actuelle dans la bordure nord-ouest de la chaîne des horsts (Maroc oriental). *Travaux du laboratoire de géomorphologie de l'université Mohammed V,* Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat, 1, 41-53.

Chaker M. (1993) – Quelques aspects quantitatifs de l'érosion en nappe (Maroc oriental). *Travaux du laboratoire de géomorphologie de l'université Mohammed V,* Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat, 2, 1-12.

De Noni G. (1998) – *L'érosion des sols cultivés en montagne tropicale : synthèse d'un parcours de recherche, de l'Amazonie aux Andes d'Équateur (Amérique du Sud)*. Habilitation à Diriger des Recherches, université Paris X-Nanterre, 356 p.

De Noni G., Viennot M., Asseline J., Trujillo G. (2001) – *Terres d'altitude, terres de risque. La lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes*. IRD Editions, Paris, 219 p.

Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA) de Nador (1994) – *Étude pédologique de reconnaissance au 1/100 000 en vue de la mise en valeur agricole dans les cercles du Rif et de Driouch*. Province de Nador, Rapport et Annexes, Bureau d'Études J.M. Coquant, Ministère de l'Agriculture, Casablanca, 221 p.

Dregne H.E. (1984) – *Desertification of arid lands*. Harwood Academy Publications, New York, 242 p.

El Abbassi H. (1999) – *Les campagnes du Rif Oriental marocain : géomorphologie, occupation humaine et érosion des sols*. Thèse d'État ès Lettres, université Chouaib Doukkali, El Jadida (Maroc), 393 p.

Fay G. (2000) – Sagesse ancienne, erreurs modernes dans la gestion des eaux de surface au Maroc. *Bulletin de l'Association de Géographes Français,* 1, 44-51.

Fenjiro I., Laouina A., Merzouk A. (1996) – Cartographie de l'évolution des formes d'érosion dans le Rif occidental (Maroc) : étude multidate utilisant un SIG. *Réseau érosion 16,* ORSTOM, 444-456.

Gauché E. (2000) – Dégradation et territoire, les enjeux de la gestion du risque : le cas des Beni Saïd, Rif oriental, Maroc. Colloque international *Risques et Territoires*, ENTPE, Vaulx-en-Velin, 253-267.

Gauché E. (2002) – *Les campagnes des Beni Saïd (Rif oriental, Maroc) : l'exemple de la crise d'une montagne et de son avant-pays*. Thèse de l'université Paris X-Nanterre, 2 t., 603 p. et 110 p.

Gauché E. (2005a) – La dynamique contrastée du ravinement dans le massif des Beni Saïd (Rif oriental, Maroc) : processus, facteurs et évolution. *Géomorphologie : relief, processus, environnement,* 3, 45-60.

Gauché E. (2005b) – Recomposition et renouveau de campagnes menacées : le cas des Beni Saïd (Rif oriental, Maroc), *Annales de Géographie*, 646, 617-642.

Geografía de Marruecos (1936) – *Protectorados y posesiones de España en Africa*. Comisión Histórica de las campañas de Marruecos, Tomes I et II, Tetouan (*nombre de pages inconnu*).

Guitouni A. (1995) – *Le Nord-Est marocain*. Thèse d'État, université François Rabelais, Tours, 474 p.

Hénin S., Gras R. et Monnier G. (1969) – *Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Masson, Paris, 332 p.

Hillel D., Tadmors N. (1962) – Water regime and vegetation in the central Negev highlands. *Ecology*, 43, 33-41.

Harrouni M.C. (1994) – Les adaptations de la végétation à la sécheresse. *In* G. Coudé-Gaussen et P. Rognon (Eds) : *Désertification et aménagement*. Cours des séminaires 1993, Médenine (Tunisie) – Agadir (Maroc), Med-Campus, 8, Caen, 39-47.

Hsiao T.C. (1973) – Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology,* 24, 519-570.

Hsiao T.C., Acevedo E. (1974) – Plant responses to water deficits, water use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology,* 14, 59-84.

Laffan M.P., Cutler E.J.B. (1977) – Landscapes, soils, and erosion of a catchment, in the Wither Hills, Marlborough. Mechanisms of tunnel-gully erosion in wither soils from loessial drift and comparison with other loessial soils in the South Island. New Island. *Journal of Science*, 20, 279-289.

Lal R. (1982) – Effects of slope length and terracing of runoff and erosion on a tropical soil. *IAHS Publ*., 137, 23-31.

Laouina A. (1995) – Démographie et dégradation des sols dans le Rif. *Réseau érosion,* ORSTOM, 15, 69-77.

Laouina A. (1998a) - Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Réseau érosion,* ORSTOM, 18, 33-53.

Laouina A. (1998b) – L'environnement des montagnes du Nord : atouts, contraintes et processus de dégradation. *In « Le développement du Maroc septentrional, Point de vue de géographes»*, Nahost und Nordafrika, 15-59.

Laouina A., Chaker M., Naciri R. et Nafaa R. (1992) – L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional. *Travaux du laboratoire de Géomorphologie de l'université Mohammed V*, 1, Rabat, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, 23-39.

Le Houérou H.N. (1995a) – Considération biogéographique sur les steppes arides du nord de l'Afrique. Synthèse. *Sécheresse*, 2, 167-181.

Le Houérou H.N. (1995b) – *Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique - Diversité biologique, développement durable et désertisation*. Options méditerranéennes. Série B, Études et recherches, Centre International des Hautes Études Méditerranéennes, 10, 273 p.

Mainguet M. (1991) – *Desertification, natural back-ground and human mismanagement*. Springer Verlag, 306 p.

Mainguet M. (1995) – *L'homme et la sécheresse*. Masson, collection Géographie, 328 p.

Martinez-Fernandez J. (1996) – Disponibilité en eau dans les sols du Sud-Est semi-aride espagnol. Érosion, désertification et aménagement du territoire dans les milieux semi-arides méditerranéens. *Med-Campus n° 8, Désertification et aménagement,* cours de séminaire de l'université de Murcie (Espagne), 101-121.

Maurer G. (1968) – Les paysans du haut Rif Central. *Revue de Géographie du Maroc*, Rabat, 14, 3-70.

Maurer G. (1988) – Héritage et dynamique actuelle dans les bassins versants : exemple du Rif et du Prérif. *« Géomorphologie et dynamique des bassins versants élémentaires en régions méditerranéennes ». Études méditerranéennes* 12, Centre Interuniversitaire d'Études Méditerranéennes, Poitiers, 179-197.

Moulieras A. (1895) – *Le Maroc inconnu. 1ère partie: Exploration du Rif* (nombe de pages inconnu).

Neboit R. (1991) – *L'homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde*. Faculté des Lettres et Sciences humaines de l'université Blaise-Pascal, fasc. 34, 2e éd., Clermont-Ferrand, 274 p.

Poesen J. (1986) – Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 1-10.

Poesen J., Bryan R.B. (1990) – Influence de la longueur de pente sur le ruissellement : rôle de la formation de rigoles et de croûte de sédimentation. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 25 (1-2), 71-80.

Poesen J., Lavee H. (1991) – Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil and Tillage Research* 21, 209-223.

Poesen J., Lavee H. (1994) – Rock fragments in topsoils: significance and processes. *Catena*, 23, 1-28.

Porta J., Lopez-Acevedo M., Roquero C. (1994) – *Edafologia*. Mundi-Prensa Ed., Madrid, 807 p.

Roose E. (1994) – Introduction à la Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols. *Bulletin pédologique de la FAO*, 70, Rome, 1-420.

Thornes J. B. (1990) – *Vegetation and erosion. Processes and Environments*. John B. Thornes (Ed.), Publ. Wiley & Sons, 536 p.

Tribak A. (1988) – *L'érosion du Prérif oriental: contribution à l'étude de la dynamique actuelle dans quelques bassins prérifains au nord de Taza (Maroc)*. Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble, 258 p.

Tribak A. (1997) – Fonctionnement actuel d'une ravine d'érosion dans une zone de marnes miocènes (région de Tarmast, Prérif oriental, Maroc). *Réseau érosion,* 17, ORSTOM, 46-54.

UNESCO (1979) – Carte de répartition mondiale des zones arides (échelle 1/2500000). *UNESCO, Note Technique, 7, MAB*, Paris, 55 p.

Valentin C. (1985) – *Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques*. Paris, ORSTOM, collection. « Études et thèses », 259 p.

Van Den Brink J.W., Jungerius P.D. (1983) – The deposition of stony colluvium on clay soil as a cause of gully formation in the Rif mountains, Morocco. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 181-285.

Vigneau J.-P. (1996) – *L'eau atmosphérique et continentale*. Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES, Paris, 192 p.

Yair A., Klein M. (1973) – The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in a arid area. *Catena 1*, 1-18.

Article reçu le 3 octobre 2004, accepté le 5 juin 2006.